

用混合热法测定冰的熔化热实验报告

姓名 陆皓喆 学号 2211044 专业 工科试验班（信息科学与技术）
组别 D 实验时间 周二上午 3 月 28 日

一、实验目的

1. 正确使用量热器, 熟练使用温度计;
2. 用混合量热法测定冰的熔化热;
3. 进行实验安排和参量选取;
4. 学会一种粗略修正散热的方法——抵偿法。

二、仪器用品

量热器、KT300 型数字温度计、电子天平、秒表、烧杯、干拭布、保温桶、冰及热水等。

三、实验原理

1. 混合量热法

把待测系统 A 与某已知热容的系统 B 相混合, 并设法使其成为一个与外界无热量交换的孤立系统 C(=A+B)。这样 A(或 B)所放出的热量将全部为 B(或 A)所吸收, 因而满足热平衡方程

$$Q_{\text{放}} = Q_{\text{吸}}$$

已知热容的系统在实验过程中所传递的热量 Q 是可以由其温度的改变 $\Delta \theta$ 及其热容 C_s 计算出来的:

$$Q = C_s \Delta \theta$$

于是, 待测系统在实验过程中所传递的热量即可求得。冰的熔化热也就可以据此测定。

2. 实验部分原理

质量 m_i 、温度 θ'_0 的冰块与质量 m 、温度 θ_1 的水相混合, 冰全部熔化为水后, 测得平衡温度为 θ_2 。假定量热器内筒与搅拌器的质量分别为 m_1 、 m_2 , 其比热容分别为 c_1 、 c ; 数字式温度计之测温传感器(铂电阻测温探头)自身热容甚小, 可忽略不计; 水和冰的比热容分别为 c 和 c_i (在 $-40^\circ\text{C} \sim 0^\circ\text{C}$ 范围内, $c = 1.8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$); 冰的熔点为 θ_0 。则由热平衡方程可得

$$c_i m_i (\theta_0 - \theta'_0) + m_i L + c m_i (\theta_2 - \theta_0) = (cm + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2)$$

本实验条件下, 冰的熔点可认为是 0°C , 也可选取冰块的温度 $\theta'_0 = 0^\circ\text{C}$ 。于是, 冰的熔化热可由下式求出:

$$L = \frac{1}{m_i} (cm + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2) - c \theta_2$$

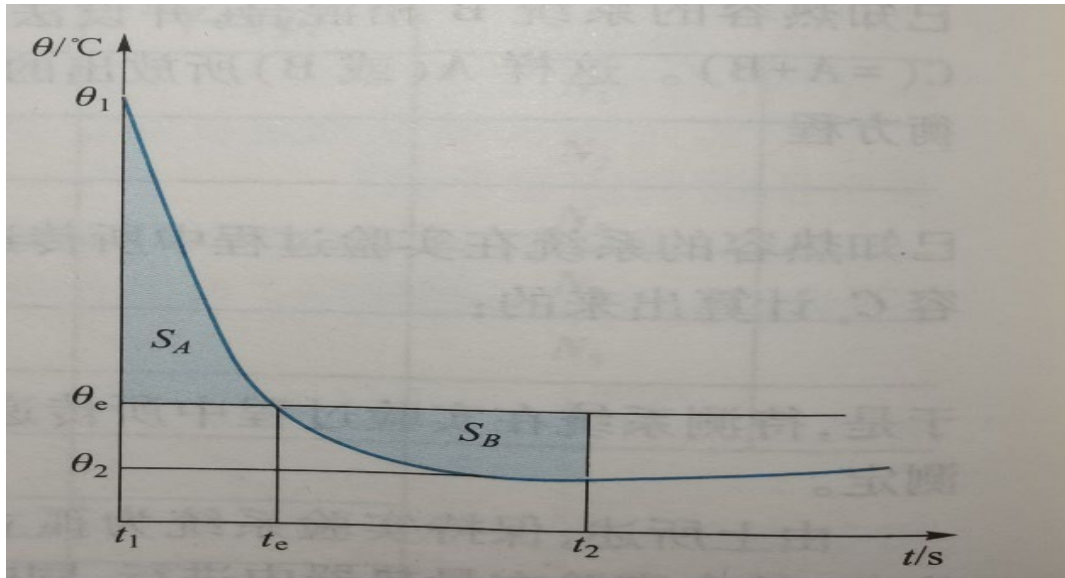
由于量热器的绝热条件并不十分完善,实际实验系统并非严格的孤立系统,所以,在做精密测量时,就需设法求出实验过程中系统与外界交换的热量,以作适当的散热修正。

本实验介绍一种粗略修正散热的所谓抵偿法。其依据是牛顿冷却定律。当系统的温度高于环境温度时,它就要散失热量。实验证明:当温差较小(一般不超过 15 K)时,(非自然对流)系统的散热制冷速率与温差成正比。此即牛顿冷却定律:

$$\frac{dq}{dt} = -k(\theta - \theta_e)$$

其中, dq 表示 dt 时间内系统与外界交换的热量。比例系数 k 为一个与系统表面积成正比并随表面辐射本领而变的常量,称为散热常量。其物理意义为:单位温差下,单位时间的热量损失。其单位为 $J \cdot K^{-1} \cdot s^{-1}$ 。负号的意义表示当系统温度高于环境温度时散失热量,即当 $\theta > \theta_e$ 时, $dq/dt < 0$, 系统向外界放出热量;反之, $dq/dt > 0$, 系统从外界吸收热量。在实验过程中,如果恰当地将系统的初温和末温分别选择在室温的两侧,即: $\theta_1 > \theta_e > \theta_2$, 并且使整个实验过程中系统与外界的热量传递前后彼此抵消,则可以达到散热修正之目的。

根据实验中的具体情况,刚投入冰块时,水温较高,冰的有效面积大,熔化快,系统温度降低较快;随着冰块的不断熔化变小,水温逐渐降低,冰熔化变慢,水温降低的速度亦慢下来。量热器中水温随时间的变化应该是一条指数下降的曲线,如图所示。



对式 $\frac{dq}{dt} = -k(\theta - \theta_e)$ 求积分,即可得到由 t_1 到 t_2 (对应温度 θ_1 到 θ_2) 时间内,整个系统与外界交换的热量 q :

$$\begin{aligned} q &= -k \int_{t_1}^{t_2} [\theta(t) - \theta_e] dt \\ &= -k \int_{t_1}^{t_e} (\theta - \theta_e) dt + k \int_{t_e}^{t_2} (\theta_e - \theta) dt \end{aligned}$$

$$= -kS_A + kS_B$$

其中, $S_A = \int_{t_1}^{t_e} (\theta - \theta_e) dt$ 及 $S_B = \int_{t_e}^{t_2} (\theta_e - \theta) dt$ 表示图中的阴影面积。

由上式可见, 当 $S_A = S_B$ 时, 实验过程中系统与外界交换的热量 $q=0$ 。因此, 只要适当地选择参数, 使曲线与环境温度 $\theta = \theta_e$ 直线围成的两块面积近似相等, 即 $S_A \approx S_B$, 就可以使系统很好地近似为一个孤立系统。

由图中的曲线可知, 欲使 $S_A \approx S_B$, 就必须使 $\theta_1 - \theta_e > \theta_e - \theta_2 > 0$ 。实验前, 应做出明确的计划, 实验中注意选取及适当调整参数 m , m_i 及 θ_i 等, 使满足上式。但应注意到 $\theta_2 > 0$ 的条件, 否则, 冰将不能全部融化。

四. 实验内容

1. 打开数字温度计、电子天平, 测量环境温度 θ_{e1} ;
2. 测量内筒 m_1 , 搅拌器质量 m_2 ;
3. 配置温水: 配置 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 的温水至内筒 ($\theta_{\text{温水}} - \theta_e = 10 \sim 15^\circ\text{C}$), 测定内筒, 搅拌器和水的质量 $m_1 + m_2 + m$ (水的质量 m);
4. 内筒放进量热器, 插好温度计, 投冰前, 每隔 1min 记录一次读数, 共 5 分钟, 第 6 分钟放入冰块, “外推法” 记下投冰时间水的初温 θ_1 , 并不断低频大幅搅拌;
5. 放冰块后, 每 20s 记录一次温度, 直至温度达到最小 θ_2 , 并略有上升;
6. 取出内筒称重 $m_1 + m_2 + m + M$, 测量环境温度 θ_{e2} 。(冰的质量 M);
7. 用描点数方格的方法, 拟合 $\theta \sim t$ 曲线, 求出冰的熔解热;
8. 根据结果调整参量 m, M 及 θ_1 , 反复实验, 寻求最佳散热修正, 减小实验误差;

五. 数据处理

1. 已知数据:
 $c = 4.1868 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $c_1 = 0.385 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
 $c_2 = 0.370 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $m_2 = 1.214 \times 10^{-2} \text{ kg}$ 。
2. 实验室测量数据见下图:



南大大学 作业纸

系别 _____ 班级 _____ 姓名 _____ 第 1 页

$$\theta_{e1} = 18.6^\circ\text{C}$$

$$m_1 = 104.89\text{g}$$

$$m_2 = 12.22\text{g}$$

$$m + m_1 + m_2 = 264.46\text{g}$$

未加冰

时间 / 分钟	0	1	2	3	4	5
温度 / $^\circ\text{C}$	32.1	32.0	31.9	31.8	31.7	31.5

加入冰球, 并搅拌 $\theta_1 = 31.5^\circ\text{C}$

时间 / 分钟	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
温度 / $^\circ\text{C}$	31.5	26.1	22.3	18.6	17.6	16.9	16.3	15.8	15.4	15.0	14.6	14.6

$$\text{结束 } \theta_2 = 14.6^\circ\text{C}$$

$$m + m_1 + m_2 + m_j = 273.5\text{g}$$

$$\theta_{e2} = 18.7^\circ\text{C}$$

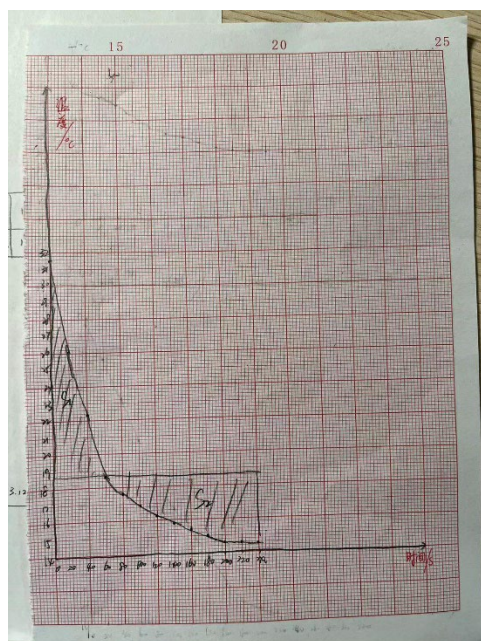
$$\frac{\theta_{e1} + \theta_{e2}}{2} = 18.65^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow L = \frac{1}{m_j} (Cm + C(m_1 + C_0 m_2) (\theta_1 - \theta_2) - C\theta_2$$

$$\begin{aligned} & \text{代入 } C = 4.1866\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad \text{4g } L = 3.122 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \\ & C_0 = 0.385\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ & C_2 = 0.5\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ & m_2 = 12.22 \times 10^{-3}\text{ kg} \\ & m_1 = 104.89\text{ g} \\ & \theta_1 - \theta_2 = 18.9^\circ\text{C} \\ & m_j = 21.1\text{ g} \end{aligned}$$

$$\Delta = \frac{|L_1 - L_2|}{L} = \frac{(3.122 \times 10^5 - 3.341 \times 10^5)}{3.341 \times 10^5} \times 100\% = 6.55\%$$

3. 画出图像, 得到曲线图:



通过数格子得到 $S_1 = 540$, $S_2 = 570$, 近似相等。

带入公式

$$L = \frac{1}{m_i}(cm + c_1m_1 + c_2m_2)(\theta_1 - \theta_2) - c\theta_2$$

计算出

$$L = 3.122 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

接下来计算误差值。

$$\Delta = \frac{L_0 - L}{L} \times 100\% = \frac{3.341 \times 10^5 - 3.122 \times 10^5}{3.341 \times 10^5} \times 100\% = 6.55\%$$

数据偏小的原因可能是两块面积不完全相等导致没有完全抵消散热。或者可能冰块未擦干就放入温水中、在实验过程中有热量散失等。

六. 考察题

- (1) 测 θ_1 之前没有搅拌;
 - (2) 测 θ_1 后到投冰前相隔了一段时间;
 - (3) 搅拌过程中有水溅出;
 - (4) 冰未擦干便投入量热器;
 - (5) 实验过程中打开量热器盖子;
1. 测得的温度比实际偏高, 测得结果偏大。
 2. 有热量散失, 测得结果偏大。
 3. 实际质量偏小, 测得结果偏大。
 4. 表面含水, 测得结果偏小。
 5. 分两种情况: 第一种是实际温度比室温高, 那么散热快, 测得结果偏大; 第二种是实际温度比室温低, 会吸热, 使温度上升, 测得结果偏小。

七. 思考题

1. 假如冰内有①气泡②小水泡③杂质, 它们分别对实验结果有影响吗? 为什么?
①没有, ②③有, 因为水泡与杂质的比热容与冰不同, 在升温过程中吸热, 影响实验结果。
2. 如果冰中含水量为 $x\%$, 试求由此引起的 L 的相对误差。

$$L' = \frac{1}{m_i \times (1 - \frac{x}{100})} \left[cm \times \left(1 + \frac{x}{100} \right) + c_1m_1 + c_2m_2 \right] (\theta_1 - \theta_2) - c\theta_2 \quad \eta = \left| \frac{L - L'}{L'} \right| \times 100\% =$$

$$\left| \frac{\frac{1}{m_i}(cm + c_1m_1 + c_2m_2)(\theta_1 - \theta_2) - c\theta_2}{\frac{1}{m_i \times (1 - \frac{x}{100})} \left[cm \times \left(1 + \frac{x}{100} \right) + c_1m_1 + c_2m_2 \right] (\theta_1 - \theta_2) - c\theta_2} \right| \times 100\%$$

3. 若给定 $L_0 = 3.341 \times 10^5 \text{ J/kg}$, 试求 L 的定值误差。

$$\Delta = \frac{L_0 - L}{L} \times 100\% = \frac{3.341 \times 10^5 - 3.122 \times 10^5}{3.341 \times 10^5} \times 100\% = 6.55\%$$